Journal of Water and Soil
https://jsw.um.ac.ir

Research Article
Vol. 38, No. 2, May-June 2024, p. 175-189

Effect of Planting Date on the Rate of Evaporation and Transpiration Components of Maize under Salinity Stress Conditions

R. Saeidi[1*]

1- Ph.D. of Irrigation and Drainage Engineering, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran
(*- Corresponding Author Email: Saeidi@org.ikiu.ac.ir)

Received: 26-10-2023 Revised: 14-12-2023 Accepted: 13-03-2024 Available Online: 13-03-2024	**How to cite this article:** Saeidi, R. (2024). Effect of planting date on the rate of evaporation and transpiration components of maize, under salinity stress conditions. *Journal of Water and Soil, 38*(2), 175-189. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jsw.2024.85046.1350

Introduction

Salinity stress causes reduction of crop evapotranspiration (ET_c) and yield. An unsuitable seed planting date can result in negative atmospheric effects, such as temperature stress, during the crop growth period. Consequently, salinity stress and unfavorable climatic conditions during this period interact to reduce crop water uptake. The mentioned conditions effect, should be investigated on crop transpiration amount (actual water requirement) and soil surface evaporation losses. This research results will have a determinative effect on the optimal use of water resources.

Materials and Methods

The studied crop in this research was S.C 704 maize. The crop planting was conducted in mini-lysimeters with a diameter of 40 cm and a height of 70 cm. The experiment factors included soil salinity stress and seed planting date. Soil salinity treatments were selected at four levels of 1.7 (S_1), 2.5 (S_2), 3.8 (S_3), 5.9 (S_4) $dS.m^{-1}$. Seed planting date included of 5 May (P_1), 25 May (P_2) 14 June (P_3) and 4 July (P_4). Crop growth period for all planting date treatments, was 140 days (FAO-56). Experiment was conducted as factorial based on completely randomized design with 16 treatments and three repetitions. Variance analysis and average comparison of data was done by SPSS software and with Duncan's multi-range test (at 5% probability level). Daily soil moisture amount was measured by a moisture meter. Irrigation time was determined for without water stress conditions. Readily available water limit was determined 0.4. Irrigation volume was calculated according to soil moisture deficit (up to FC limit), soil density, root depth, leaching fraction and soil surface area. To separate the evapotranspiration components, all treatments were performed in two series of mini-lysimeters. In the first series, soil moisture reduction was related to crop evapotranspiration amount. But in the second series, the plastic mulch was placed on soil surface. Soil moisture reduction in the second series, was only related to crop transpiration amount. Difference of data in the first and second series was equal to the evaporation amount. Linear function of Mass and Hoffman (1977) was used as the function of evapotranspiration-salinity, transpiration-salinity, and evaporation-salinity.

Results and Discussion

As salinity increased from S1 to S4 levels, evapotranspiration, transpiration, and evaporation amounts were measured on the planting dates P1, P2, P3, and P4. The measurements were as follows:

Evapotranspiration (mm): 619-548 (P1), 621-549 (P2), 624-547 (P3), and 625-544 (P4)

https://doi.org/10.22067/jsw.2024.85046.1350

Transpiration (mm): 429-309 (P1), 421-295 (P2), 418-281 (P3), and 412-265 (P4)

Evaporation (mm): 190-239 (P1), 200-254 (P2), 206-266 (P3), and 213-279 (P4)
These ranges reflect the measured amounts for each variable under increasing salinity levels across the different planting dates. Under the influence of salinity stress, soil water potential decreases, leading to a reduction in water uptake by the crop and subsequently decreased crop transpiration. As a result of this reduction in crop water uptake, the remaining water in the soil is utilized for evaporation. In S_4 level and on dates of: P_1, P_2, P_3 and P_4, crop transpiration portion decreased to 12.9%, 14.1%, 15.6% and 17.2%, respectively, and evaporation portion increased to the same amount. By adjusting the seed planting date to optimize the utilization of favorable atmospheric conditions during crop growth stages, the increase in the portion of evaporation is prevented. In initial stage of growth period, only 0 to 10% of soil surface is covered by crops (FAO-56) causing the evaporation component to have a dominant portion in the crop evapotranspiration parameter. As a result, placing of initial growth stage in warm days of year caused an increase in evaporation losses. It seems that S_1P_1 treatment was the optimal condition for transpiration increase and evaporation decrease. The estimated functions showed that (in salinity stress conditions) crop transpiration decreased more than ET_c. Therefore, the transpiration rate should be considered as the crop's net water requirement instead of ET_c (crop evapotranspiration). According to the Mass-Hoffman function, under stress conditions, the decreasing slope of transpiration and evapotranspiration and the increasing slope of evaporation become more pronounced. For instance, in planting dates of P1, P2, P3, and P4, for each unit ($dS.m^{-1}$) of increase in soil salinity, the evapotranspiration rates decreased by 2.51%, 2.82%, 3.3%, and 3.65%, respectively. Similarly, the transpiration rates decreased by 6.1%, 7.34%, 8.42%, and 9.2%, respectively, while the evaporation rates increased by 5.5%, 6.7%, 7%, and 7.82%.

Conclusion

Salinity and atmospheric temperature stresses had interaction effects on evapotranspiration and components rates. Postponing the seed planting date and not utilizing optimal weather conditions, especially during spring, can lead to damage to transpiration, which is a favorable aspect; however it is unfavorable in evaporation,. Therefore, in irrigated crops, it is advisable not to plant seeds during the warm months of the year, especially in July and August. Consequently, by controlling soil salinity and selecting the appropriate planting date, water can be optimally utilized.

Keywords: Growth period, Soil salinity, Water losses, Water requirement

نشریه آب و خاک

https://jsw.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۳۸، شماره ۲، خرداد-تیر ۱۴۰۳، ص.۱۸۹-۱۷۵

اثر تاریخ کاشت بر نرخ اجزای تبخیر و تعرق ذرت در شرایط تنش شوری

رضا سعیدی [1]*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۳

چکیده

تنش‌های محیطی و شرایط اقلیمی در دوره رشد گیاه، از عوامل مؤثر بر میزان تبخیر-تعرق گیاه هستند. اثر تنش شوری و تاریخ کاشت بذر بر نرخ اجزای تبخیر و تعرق ذرت (رقم سینگل کراس ۷۰۴) در سال ۱۴۰۱ و در منطقه قزوین بررسی شد. برای تفکیک اجزای تبخیر و تعرق ذرت، کشت لایسیمتری انتخاب شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا شد. تیمارها شامل شوری خاک در چهار سطح ۱/۷ (S_1)، ۲/۵(S_2)، ۳/۸ (S_3)، ۵/۹ (S_4) دسی‌زیمنس بر متر و تاریخ کاشت شامل ۱۵ اردیبهشت (P_1)، ۴ خرداد (P_2)، ۲۴ خرداد (P_3) و ۱۳ تیر (P_4) بود. شوری عصاره اشباع خاک در تیمارها از طریق اعمال کسر آبشویی بر خاک، کنترل شد. مقدار روزانه رطوبت خاک توسط دستگاه رطوبت‌سنج اندازه‌گیری شد. از تابع خطی مَس-هافمن (۱۹۷۷) نیز به‌عنوان تابع شوری-تبخیر-تعرق، تابع شوری-تعرق و تابع شوری-تبخیر استفاده شد. با افزایش شوری از سطح S_1 به S_4 و در تاریخ‌های P_1، P_2، P_3 و P_4 به‌ترتیب مقدار تبخیر-تعرق در محدوده ۶۱۹-۵۴۸، ۶۲۱-۵۴۹، ۶۲۴-۵۴۷ و ۶۲۵-۵۴۴ میلی‌متر، مقدار تعرق در محدوده ۴۲۹-۳۰۹، ۴۲۱-۲۹۵، ۴۱۸-۲۸۱ و ۴۱۲-۲۶۵ میلی‌متر و مقدار تبخیر در محدوده ۱۹۰-۲۳۹، ۲۰۰-۲۵۴، ۲۰۶-۲۶۶ و ۲۱۳-۲۷۹ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. در اثر تنش شوری، پتانسیل آب خاک کاهش یافت و به‌دنبال آن میزان جذب آب و تعرق گیاه کاهش پیدا کرد. با کاهش جذب آب (توسط گیاه)، آب باقی‌مانده از سهم تعرق در خاک، صرف جزء تبخیر و افزایش آن شد. از سوی دیگر تاریخ کاشت بذر نیز بر مقدار تبخیر (جزءِ نامطلوب) و تعرق (جزءِ مطلوب) مؤثر بود. به‌طوری‌که در بیش‌ترین سطح تنش شوری و در تاریخ‌های P_1، P_2، P_3 و P_4، سهم تعرق گیاه به‌ترتیب ۱۲/۹، ۱۴/۱، ۱۵/۶ و ۱۷/۲ درصد کاهش و سهم تبخیر از سطح خاک به همان اندازه افزایش یافت. در مرحله اولیه رشد گیاه، جزءِ تبخیر دارای سهم غالب در پارامتر تبخیر-تعرق گیاه بود. به‌همین دلیل قرارگیری مرحله اولیه رشد گیاه در روزهای گرم سال، باعث افزایش تلفات تبخیر شد. از این‌رو تیمار S_1P_1 دارای شرایط بهینه (در پژوهش حاضر) برای افزایش تعرق و کاهش تبخیر بود. تابع خطی مَس-هافمن نیز نشان داد که در تاریخ‌های کشت P_1، P_2، P_3، P_4 و به‌ازای افزایش یک دسی‌زیمنس بر متر شوری خاک، میزان تبخیر-تعرق به‌ترتیب ۲/۵۱، ۲/۸۲، ۳/۳ و ۳/۶۵ درصد کاهش، میزان تعرق به‌ترتیب ۶/۱، ۷/۳۴، ۸/۴۲ و ۹/۲ درصد کاهش و میزان تبخیر به‌ترتیب ۵/۵، ۶/۷، ۷ و ۷/۸۲ درصد افزایش داشت. درنتیجه با کنترل شوری خاک و انتخاب تاریخ مناسب کشت بذر، می‌توان برنامه‌ریزی مصرف بهینه آب را به‌طور بهینه مدیریت نمود.

واژه‌های کلیدی: تلفات آب، دوره رشد، شوری خاک، نیاز آبی

مقدمه

در شرایط کمبود منابع آب‌های باکیفیت در بخش کشاورزی و بحران شور شدن اراضی کشاورزی، مدیریت کاهش اثرات منفی تنش شوری بر گیاهان زراعی، همواره مورد توجه پژوهش‌گران بوده است. دشت قزوین با پهنه‌ای به وسعت حدود ۴۴۰ هزار هکتار، یکی از قطب‌های مهم کشاورزی در کشور محسوب می‌شود. اما گسترش زمین‌های شور، یکی از بزرگ‌ترین معضلات تهدیدکننده کشاورزی در این منطقه به‌شمار می‌رود (Uossef Gomrokchi *et al.*, 2020). تنش شوری باعث کاهش پتانسیل آب خاک، کاهش جذب آب و عناصر غذایی مفید توسط گیاه، افزایش مقاومت روزنه‌ای برگ‌ها و کاهش تعرق گیاه

۱- دکتری آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

(*- نویسنده مسئول: (Email: Saeidi@org.ikiu.ac.ir

https://doi.org/10.22067/jsw.2024.85046.1350

می‌شود (Saeidi *et al*., 2021). در پژوهشی در آمریکا گزارش شد که با افزایش شوری آب آبیاری از ۰/۵ به ۲/۵، ۵ و ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر به‌ترتیب ۷، ۱۵ و ۳۰ درصد از مقدار تبخیر - تعرق ذرت کاسته شد (Lacerda *et al*., 2016). در پژوهشی اثر شوری خاک شامل سطوح (S_1) ۰/۵، (S_2) ۱/۷، (S_3) ۲/۵، (S_4) ۳/۵، (S_5) ۴/۵، (S_6) ۵/۵، (S_7) ۶/۵ و (S_8) ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر، بر میزان جذب آب توسط گیاه ذرت بررسی شد. نتایج نشان داد که با افزایش شوری خاک، مقدار جذب آب در مراحل رشد اولیه، توسعه، میانی و پایانی به‌ترتیب با شیب ۶/۸۱، ۷/۴، ۹/۱۳ و ۴/۲۵ درصد کاهش یافت (Saeidi, 2023).

در شرایط تنش‌های محیطی، تاریخ مناسب کاشت بذر گیاه به‌منظور استفاده از شرایط زمانی بهینه، ابزار مهمی در کاهش عوارض ناشی از تنش‌ها می‌باشد (Andarzian *et al*., 2015). انتخاب بازه زمانی مناسب برای دوره رشد گیاه در اقلیم خاص یک منطقه، از جهت مقدار پارامترهای هواشناسی (مانند دمای هوا، سرعت باد، رطوبت نسبی و ...) می‌تواند بر میزان تبخیر-تعرق گیاه مؤثر باشد. از این‌رو اعمال تنش شوری و وضعیت نامطلوب اقلیمی در دوره رشد گیاه، جزو عواملی هستند که می‌توانند اثر متقابلی بر جذب آب و نیاز آبی واقعی گیاه بگذارند. به‌عنوان نمونه در کشت لایسیمتری ذرت نشان داده شد که حساسیّت ذرت به تنش شوری، با افزایش تقاضای تبخیر اتمسفر (در دوره رشد گیاه) افزایش یافت (Katerji *et al*., 2004). در پژوهش دیگر با استفاده از آزمایش گلدانی در فضای آزاد نشان داده شد که میزان تقاضای تبخیر اتمسفر بر پاسخ گیاه ارزن به تنش شوری مؤثر بوده است (Choudhary *et al*., 2019). زیرا با افزایش تقاضای تبخیر اتمسفر، نیاز تبخیر-تعرق گیاه بالا رفته و در شرایط تنش شوری (که باعث کاهش جذب آب می‌شود)، این مسئله اثر مضاعف تنش‌زا به‌همراه دارد.

در پژوهش‌های گذشته اهمیت انتخاب تاریخ مناسب برای کاشت بذر گیاه نشان داده شده است. در کشور مصر اثر تاریخ‌های متفاوت کشت بذر و سطوح آبیاری بر میزان جذب NPK، عملکرد و بهره‌وری آب ذرت بررسی شد. نتایج نشان داد که به‌علت بالا بودن دما در تابستان و تغییرات اقلیمی در منطقه خشک مصر، کاشت بذر ذرت در شهریور ماه تحت ۷۰ درصد آبیاری (نسبت به شرایط استاندارد)، می‌تواند اثر بهینه بر جذب نیتروژن، صفات رشد گیاه و عملکرد محصول داشته باشد (Abaza *et al*., 2023). در تحقیق دیگر گیاه عدس در دو تاریخ ۱۵ و ۲۵ فروردین در منطقه قزوین کشت شد. نتایج نشان داد که از تاریخ کشت ۱۵ تا ۲۵ فروردین، عملکرد بیولوژیک محصول عدس دیم به‌ترتیب از ۱۱۳۸ به ۶۷۵ کیلوگرم بر هکتار تغییر یافت. یکی از علل نتایج مذکور، اثر افزایش دما به‌خصوص در مراحل حساس رشد گیاه (مانند گل‌دهی و پُر شدن دانه‌ها) بود. به این صورت که با به تأخیر افتادن تاریخ کاشت بذر، دوره گل‌دهی و پُر شدن دانه‌های عدس با اوج گرمای سال همراه شد و درنتیجه عملکرد محصول کاهش پیدا کرد (Soultani *et al*., 2012). در پژوهشی در منطقه گرگان، بهره‌وری مصرف آب چهار ژنوتیپ گندم نان در هفت تاریخ کاشت (از ۱۰ آبان تا ۱۰ دی‌ماه با فاصله ۱۰ روز از هم) بررسی شد. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیش‌ترین عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب در تاریخ کاشت‌های دوم و سوم (۲۰ و ۳۰ آبان) به‌دست آمد. درنتیجه انتخاب تاریخ کاشت بهینه، اثر تعیین کننده در مدیریت مصرف منابع آبی دارد (Sajadi *et al*., 2023).

در تعیین تاریخ بهینه کاشت، میزان تلفات تبخیر از سطح خاک مسئله مهمی است که به‌عنوان جزء نامطلوب در پارامتر تبخیر-تعرق گیاه محسوب می‌شود و نمی‌توان آن‌را نادیده گرفت. در این‌باره پژوهشی بر روی ذرت در کشور چین انجام شد و اجزاءِ تبخیر از سطح خاک و تعرق گیاه، با استفاده از روش میکرولایسیمتری برآورد شد. نتایج نشان داد که در طول دوره رشد ذرت، حدود ۴۰ درصد از مقدار کل تبخیر-تعرق گیاه ذرت به جزء تبخیر از سطح خاک اختصاص یافته است (Ferreira *et al*., 2012). از این‌رو اعلام شد که با جداسازی اجزاءِ تبخیر - تعرق ذرت به دو جزء تبخیر از خاک و تعرق گیاه، این امکان وجود دارد که تحلیل بهتری از بهره‌وری آب داشته و با این کار می‌توان مدیریت مصرف آب را بهینه‌سازی نمود (Zhou *et al*., 2017). به‌این منظور می‌توان زمان کاشت بذر را طوری تعیین کرد که مرحله اولیه رشد گیاه در بازه زمانی با شرایط آب و هوایی متعادل و دمای پایین‌تر قرار گیرد. به‌دلیل این‌که براساس گزارش نشریه فائو-۵۶، مرحله اولیه رشد گیاه دارای بیش‌ترین میزان تبخیر از سطح خاک در کل دوره رشد گیاه می‌باشد. البته در شرایط تنش شوری، نقش جزء نامطلوب تبخیر برجسته‌تر می‌شود. زیرا به‌علت کاهش پتانسیل آب خاک در شرایط تنش شوری، جذب آب و تعرق گیاه کاهش یافته و جزءِ تبخیر همواره نقش رقابتی با تعرق گیاه (جزء مطلوب) ایفا می‌کند، تا سهم آب بیش‌تری به خود اختصاص دهد. به‌این صورت که در شرایط تنش شوری، آبی که باید سهم تعرق گیاه بشود، توسط گیاه جذب نشده و صرف تبخیر از سطح خاک می‌گردد (Saeidi, 2022 a). در تحقیقی مشابه (در دانشگاه تهران) گیاه ذرت در گلدان‌هایی با ارتفاع ۳۶ و قطر ۲۵ سانتی‌متر کاشته شد و اثر تنش شوری بر روی آن بررسی شد. تیمارهای شوری آب آبیاری شامل سطوح (S_1) ۱/۷، (S_2) ۳/۳۶، (S_3) ۶/۳۳ و (S_4) ۸/۳۵ دسی‌زیمنس بر متر بود. جذب آب توسط گیاه در تیمارهای S_1، S_2، S_3 و S_4 (نسبت به شاهد)، به‌ترتیب ۸/۰۸، ۲۳/۷۵، ۴۴/۷۷ و ۶۵/۱۷ درصد (در فصل بهار) و ۴/۵، ۱۲/۸۴، ۲۹/۲۷ و ۴۲/۲۴ درصد (در فصل پاییز) کاهش یافت. نتایج نشان داد که در فصل بهار به‌علت بالاتر بودن تقاضای تبخیر اتمسفر (نسبت به پاییز)، سهم بیشتری از آب به جزءِ تبخیر اختصاص پیدا کرد و درنتیجه کاهش جذب آب با شدت بیشتری اتفاق افتاد (Bazrafshan *et al*., 2020).

تاکنون پاسخ اجزای تبخیر و تعرق گیاه ذرت به تغییر تاریخ کشت بذر در شرایط تنش شوری بررسی نشده است. از این‌رو هدف از پژوهش

حاضر با عنوان اثر تاریخ کاشت بر نرخ اجزای تبخیر و تعرق ذرت، در شرایط تنش شوری تعیین می‌شود. در این تحقیق می‌توان اثر متقابل شرایط آب و هوایی دوره رشد گیاه و عامل تنش شوری را بر میزان تلفات تبخیر از سطح خاک و تعرق گیاه (نیاز آبی واقعی) مطالعه نمود. از نتایج حاصل می‌توان برای تعیین تاریخ مناسب کاشت ذرت در شرایط اعمال تنش شوری و مدیریت بهینه مصرف آب در منطقه مورد مطالعه، بهره‌برداری نمود.

مواد و روش‌ها

در سال ۱۴۰۱ پژوهشی در گروه مهندسی آب دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره) (شهر قزوین) با موقعیت جغرافیایی "۲۳ '۱۹ °۳۶ عرض شمالی و "۳۸ '۰۰ °۵۰ طول شرقی انجام شد. گیاه مورد مطالعه ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ بود. به‌منظور اعمال دقیق تنش شوری بر خاک و اندازه‌گیری میزان جذب آب توسط گیاه، بستر کشت به‌صورت مینی‌لایسیمترهای استوانه‌ای شکل با قطر ۴۰ و ارتفاع ۷۰ سانتی‌متر انتخاب شد. البته در پژوهش‌های گذشته نیز از مینی‌لایسی‌مترهایی با ابعاد مذکور برای کشت ذرت استفاده شد (Saeidi, 2022 a; Dehghanisanij *et al*., 2018). برای کنترل شوری خاک (از طریق آبشویی)، اندازه‌گیری حجم و شوری زه‌آب خروجی، در کف هر مینی‌لایسیمتر از لوله‌های سوراخدار و فیلتر شن (به‌عنوان زهکش) استفاده شد. خاکی که داخل مینی‌لایسیمترها ریخته شد، مخلوطی از خاک مزرعه، ماسه بادی و کود حیوانی با نسبت ۳، ۱ و ۱ بود که مشخصات آن در جدول ۱ ارائه شد. در مورد میزان مناسب تراکم خاک، ابتدا اقدام به اندازه‌گیری چگالی ظاهری یک نمونه خاک آماده کشت (شخم خورده) در شرایط طبیعی مزرعه شد و سپس تراکم خاک داخل مینی‌لایسیمتر بر اساس آن تعیین شد. از این‌رو با توجه به حجم هر مینی‌لایسیمتر، وزن مشخصی از خاک به‌صورت لایه لایه به تراکم مذکور رسانده شد و با غرقاب نمودن آن، از هرگونه نشست احتمالی و جریان ترجیحی در خاک جلوگیری شد. در مورد نحوه کشت بذور ابتدا در داخل هر مینی‌لایسیمتر تعداد سه بذر به‌صورت دستی و با فواصل یکسان از هم کاشته شد. پس از جوانه‌زنی و رسیدن گیاهان به سه برگ، بهترین گیاه برای اعمال تیمارها باقی ماند و سایر گیاهان از سطح خاک حذف شدند. با توجه به مساحت خاک در هر مینی‌لایسیمتر و کاشت یک بوته در آن، تراکم تعداد بوته در واحد سطح منطبق بر تراکم استاندارد ۸۰۰۰۰ بوته در هکتار برای گیاه ذرت بود. در تحقیقی مشابه نیز با هدف بررسی تأثیر تنش شوری و قارچ میکوریزا بر ویژگی‌های مورفولوژیک گیاه ذرت، شیوه کشت گیاهان به‌صورت پژوهش حاضر گزارش شد (Dehghani *et al*., 2017).

جدول ۱- ویژگی‌های خاک مینی‌لایسیمتر

Table 1- Mini-lysimeter soil properties

پارامتر Parameter	واحد Unit	مقدار Amount
هدایت الکتریکی عصاره اشباع Electrical conductivity of saturated extract	$dS.m^{-1}$	0.53
pH	-	7.3
بافت خاک Soil texture	-	لوم شنی Sandy loam
شن Sand	%	54
سیلت Silt	%	35
رس Clay	%	11
رطوبت جرمی در حد ظرفیت زراعی Moisture content at field capacity (FC)	%	24.5
رطوبت جرمی در نقطه پژمردگی دائم Moisture content at permanent wilting point (PWP)	%	10.6
جرم مخصوص ظاهری Bulk density	$g.cm^{-3}$	1.36

تیمارهای پژوهش

فاکتورهای مورد بررسی در پژوهش حاضر، دو عامل تنش شوری خاک و تاریخ کاشت بذر گیاه بود. تیمارهای شوری شامل شوری عصاره اشباع خاک در چهار سطح با هدایت الکتریکی ۱/۷ (S_1)، ۲/۵ (S_2)، ۳/۸ (S_3) ۵/۹ (S_4) دسی‌زیمنس بر متر بود که بر منطقه ریشه گیاه اعمال شد. علت انتخاب مقادیر مذکور این بود که براساس گزارش نشریه فائو-۲۹، S_1 سطح آستانه تحمل ذرت به شوری عصاره اشباع خاک بود و سطوح S_1، S_2 و S_3 محدوده‌ای بودند که عملکرد ذرت را به‌ترتیب ۱۰، ۲۵ و ۵۰ درصد کاهش می‌دادند (Ayers & Westcot, 1985). برای جلوگیری از اثر تنش شوری بر جوانه‌زنی بذر، تیمارهای شوری پس از سه برگی شدن گیاه اعمال شد. تنش شوری از طریق آب آبیاری بر خاک اعمال شد. به‌این صورت‌که از ترکیب آب باکیفیت چاه (S_0=۰/۵ $dS.m^{-1}$) و زه‌آب بسیار شور (با شوری ۲۰۹ $dS.m^{-1}$) جمع شده در زهکش حائل شوره‌زار منطقه آبیک قزوین، سطوح شوری در تیمارها تولید شد (جدول ۲). روش کار به‌این ترتیب بود که در زمان اعمال تیمارهای شوری، اولین آبیاری با هدف شور شدن عصاره اشباع خاک در حد تیمار مد نظر انجام شد. به‌طوری‌که ابتدا خروجی زهکش مینی‌لایسیمتر بسته شد و پس از آبیاری با آب شور تا حد اشباع خاک، حدود سه ساعت فرصت داده شد تا خاک به‌صورت اشباع باشد. سپس خروجی مینی‌لایسیمتر باز شد و با اندازه‌گیری شوری زه‌آب (متعادل شده)، اطمینان حاصل شد که شوری مدنظر به خاک اعمال شده است. پُر واضح بود که آبیاری پیوسته با آب در سطح شوری تیمارها باعث تجمع نمک‌ها در خاک و افزایش شوری خاک پس از هر نوبت آبیاری می‌شد. از این‌رو برای اعمال صحیح تنش‌ها، شوری خاک (در هر یک از سطوح S_1 تا S_4) در حد امکان و از طریق کنترل کسر آبشویی، ثابت نگه داشته شد. در پژوهشی مشابه که با هدف مدل‌سازی پاسخ گیاه ذرت به تنش شوری در خاکی با بافت لوم شنی انجام شد، میزان کسر آبشویی (LF[1]) به‌مقدار ۰/۵ در نظر گرفته شد تا شوری نیمرخ خاک در حد امکان یکنواخت شود (Akhtari *et al*., 2014). در پژوهش حاضر نیز با استناد به پژوهش مذکور و مشابهت بافت خاک، مقدار کسر آبشویی ۰/۵ انتخاب شد. البته اعمال تنش شوری در زمانی تأیید شد که میزان شوری زه‌آب خروجی از مینی‌لایسیمتر با شوری آب ورودی به آن، به تعادل رسیده باشند.

از سوی دیگر فاکتور دوم پژوهش، تاریخ کاشت بذر بود. در استان قزوین، تاریخ مناسب کاشت بذر ذرت سینگل کراس ۷۰۴ از نیمه اردیبهشت ماه تا نیمه تیر ماه گزارش شد (Alikhani *et al*., 2015). از این‌رو تیمارهای تاریخ کاشت بذر ذرت در بازه زمانی مذکور تعیین شد. تیمارهای تاریخ کاشت بذر شامل ۱۵ اردیبهشت (P_1)، ۴ خرداد (P_2)، ۲۴ خرداد (P_3) و ۱۳ تیر (P_4) بود که با فاصله زمانی ۲۰ روز از هم انتخاب شد. کل طول دوره رشد گیاه برای تیمارهای تاریخ کاشت یکسان بود و مطابق با طول دوره رشد ذرت در نشریه فائو-۵۶، به‌مدت ۱۴۰ روز در نظر گرفته شد (Allen *et al*., 1998). باتوجه به‌این که تیمارهای تنش شوری پس از سه برگی شدن گیاه اعمال شد، تاریخ آن برای تیمارهای P_1، P_2، P_3 و P_4 به‌ترتیب ۲۹ اردیبهشت، ۱۸ خرداد، ۷ تیر و ۲۶ تیر بود. به‌طور کلی برای بررسی اثر دو عامل تنش شوری و تاریخ کاشت بذر بر مقادیر تبخیر-تعرق و اجزای آن، آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی، با ۱۶ تیمار و سه تکرار اجرا شد. تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌های واقعی (تبخیر-تعرق و اجزای آن) توسط نرم‌افزار SPSS و با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

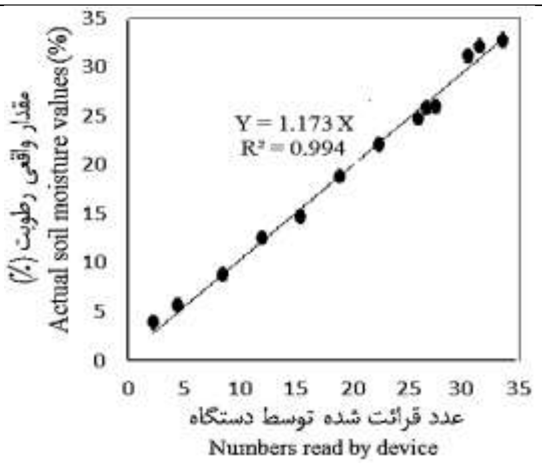
برنامه‌ریزی آبیاری

مقدار روزانه رطوبت خاک توسط دستگاه رطوبت‌سنج ساخت شرکت دِلتاتی (ΔT) مدل HH_2، در مرکز سطح هر مینی‌لایسیمتر و در عمق توسعه ریشه گیاه اندازه‌گیری شد. در مورد نحوه تشخیص عمق توسعه ریشه گیاه، مینی‌لایسیمترهای جداگانه‌ای برای این کار درنظر گرفته شد و با خارج کردن ریشه گیاه از خاک در مراحل مختلف رشد، ارتفاع آن‌ها اندازه‌گیری شد. در خصوص کار با دستگاه رطوبت‌سنج نیز قبل از شروع آزمایش، اعداد ثبت شده توسط دستگاه مذکور نسبت به مقادیر واقعی رطوبت خاک واسنجی شد. به‌این صورت که قبل از کشت، خاک یک مینی‌لایسیمتر به‌طور کامل از آب اشباع شد و سِنسور دستگاه رطوبت‌سنج در آن قرار داده شد. همراه با کاهش رطوبت خاک در روزهای آتی، اقدام به اندازه‌گیری هم‌زمان مقدار واقعی رطوبت خاک و قرائت عدد از روی دستگاه شد. سپس در یک نمودار، داده‌های واقعی رطوبت خاک در محور عمودی و داده‌های ثبت شده توسط دستگاه در محور افقی قرار داده شد و منحنی اِشِل (با معادله مشخص) برای تبدیل داده‌های دستگاه به داده‌های واقعی رطوبت تهیه شد (شکل ۱).

1- Leaching Fraction, LF

جدول ۲- ویژگی‌های کیفی منابع آب مورد استفاده در پژوهش
Table 2- Qualitative properties of used water sources in the research

سطوح شوری Salinity level	هدایت الکتریکی Electrical conductivity ($dS.m^{-1}$)	سدیم Sodium ($meq.L^{-1}$)	منیزیم Magnesium ($meq.L^{-1}$)	کلسیم Calcium ($meq.L^{-1}$)	پتاسیم Potassium ($meq.L^{-1}$)	سولفات Sulfate ($meq.L^{-1}$)	بی‌کربنات Bicarbonate ($meq.L^{-1}$)	کربنات Carbonate ($meq.L^{-1}$)	کلر Chlorine ($meq.L^{-1}$)
S_0	0.5	2.36	0.88	1.35	0.2	1.42	1.12	0.41	1.74
S_1	1.7	9.46	2.66	4	0.7	5.38	3.8	0.64	6.6
S_2	2.5	14.8	3.6	5.7	0.87	7.8	5.7	0.8	10.5
S_3	3.8	19.8	7.2	9.8	1.1	11.4	9.4	1.7	15.1
S_4	5.9	29.9	11.8	15.6	1.5	19.4	14.2	3.7	21.3



شکل ۱- منحنی واسنجی مقادیر واقعی رطوبت خاک، نسبت به اعداد قرائت شده توسط دستگاه
Figure 1- Calibration curve of actual soil moisture values, relative to the numbers read by device

در برنامه‌ریزی آبیاری هدف این بود که هیچ‌گونه تنش آبی بر گیاهان اِعمال نشود. از این‌رو زمان انجام آبیاری طوری تعیین شد که حتی در مراحل حساس رشد نیز، آب به‌صورت سهل‌الوصول در دسترس گیاه باشد. دراین‌باره در پژوهشی در منطقه قزوین گزارش شد که حد آب سهل‌الوصول خاک (RAW[1]) در حساس‌ترین مرحله رشد ذرت نیز بیش از ۴۰ درصد بوده است (Saeidi, 2021 b). بنابراین زمان آبیاری، پس از تخلیه ۴۰ درصد از رطوبت خاک بین دو حد ظرفیت مزرعه (FC[2]) و نقطه پژمردگی دائم (PWP[3]) تعیین شد. درصد رطوبت وزنی خاک در حد FC و PWP از طریق قرار دادن نمونه خاک اشباع در دستگاه صفحات فشاری (به‌ترتیب تحت فشارهای مکشی یک‌سوم و ۱۵ اتمسفر) و سپس خشک‌کردن خاک در گرم‌خانه، محاسبه و در جدول ۱ ارائه شد. برای اندازه‌گیری و کنترل مقدار پارامتر RAW نیز از رابطه (۱) استفاده شد.

$$RAW = \frac{\theta_{FC} - \theta_m}{\theta_{FC} - \theta_{PWP}} \qquad (۱)$$

در رابطه (۱)، RAW: معرف حد آب سهل‌الوصول خاک (اعشار)، θ_m: مقدار رطوبت وزنی خاک (درصد) قبل از انجام آبیاری (پس از تخلیه مجاز ۴۰ درصد رطوبت بین دو حد FC و PWP)، θ_{FC}: رطوبت وزنی خاک در حد ظرفیت مزرعه (درصد) و θ_{PWP}: رطوبت وزنی خاک در حد نقطه پژمردگی دائم (درصد) می‌باشد.

از سوی دیگر حجم آب آبیاری باید طوری تعیین می‌شد تا کمبود رطوبت خاک ($\theta_{FC} - \theta_m$) جبران شده و تنش شوری تیمار مد نظر نیز از طریق آب آبیاری، بر خاک اعمال گردد. با توجه به مقدار کمبود رطوبت خاک در زمان آبیاری، جرم مخصوص خاک، عمق ریشه، کسر آبشویی و مساحت سطح خاک در هر مینی‌لایسیمتر، حجم آب آبیاری با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد. در این شرایط ماهیّت آب خروجی از انتهای مینی‌لایسیمترها (نیاز آبشویی)، صرفاً بابت شستشوی املاح تجمع یافته در خاک (حاصل از آبیاری قبلی) و تعادل شوری خاک در حد تیمار مد نظر بوده است.

$$V_I = \left[\frac{(\theta_{FC} - \theta_m)}{100} \times \rho b \times D \times A\right] \times (1 + LF) \qquad (۲)$$

V_I: حجم آب آبیاری (متر مکعب)، ρb: جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، D: عمق توسعه ریشه (متر)، A:

1- Readily available water, RAW
2- Field capacity, FC
3- Permanent wilting point, PWP

مساحت سطح خاک (متر مربع) و LF: کسر آبشویی خاک بود که بر اساس توضیحات قبلی، عدد ۰/۵ در نظر گرفته شد.

اندازه‌گیری تبخیر-تعرق و اجزاءِ آن

با اندازه‌گیری و احتساب حجم آب آبیاری، حجم زه‌آب و حد تخلیه مجاز رطوبت خاک (RAW=۰/۴)، از رابطه (۳) برای برآورد میزان تبخیر-تعرق گیاه (در فاصله بین دو آبیاری) استفاده شد (Saeidi, 2023). البته در مورد احتمال وقوع بارندگی و تأثیر آن بر شوری خاک این سناریو مطرح شد که اگر بارندگی اتفاق افتاد، میزان شوری خاک بلافاصله پس از بارندگی، کنترل و تنظیم گردد. در خصوص اندازه‌گیری تبخیر-تعرق برای شرایط مذکور، قرار شد که پایش رطوبت خاک و محاسبات تبخیر-تعرق در زمان بارندگی پایان یابد و پس از اتمام بارندگی، دور جدید محاسبات آغاز گردد.

$$ET_c = \left(\frac{V_I - V_d}{A}\right) - \left(\frac{\theta_m}{100} \times \rho b \times D\right) \qquad (۳)$$

در رابطه (۳)، ET_c: مقدار تبخیر-تعرق گیاه (متر) و V_d: حجم زه آب خروجی از مینی‌لایسیمتر پس از آبیاری (متر مکعب) بود.

به‌منظور تفکیک تبخیر-تعرق و اندازه‌گیری اجزای آن، همه تیمارها و تکرارها در دو سرِی مینی‌لایسیمتر اجرا شدند. در سری اول، سطح خاک مینی‌لایسیمتر بدون پوشش و در حالت طبیعی قرار داشت. ازاین‌رو تغییرات کاهشی رطوبت خاک در بین دو آبیاری، نشان‌دهنده مجموع مقادیر دو پارامتر تبخیر و تعرق بود. اما در سری دوم مینی‌لایسیمترها، برای حذف اثر تبخیر و برآورد جزءِ تعرق گیاه، از مالچ پلاستیکی با رنگ روشن و به‌صورت ورقه‌های نازک بر روی سطح خاک استفاده شد. به طوری‌که برای جلوگیری از جذب گرمای تابشی خورشید توسط مالچ و انتقال آن به خاک، مالچ پلاستیکی با فاصلهٔ ۵ سانتی‌متری از سطح خاک قرار داده شد. لذا تهویهٔ مناسب در سطح خاک امکان‌پذیر شد و از تشکیل قطره‌های آب در زیر مالچ و تأثیر آن بر مقدار رطوبت خاک جلوگیری شد (Saeidi, 2021 a). بنابراین تغییرات کاهشی رطوبت خاک در سرِی دوم مینی‌لایسیمترها فقط مربوط به تعرق گیاه بود و اختلاف آن با داده‌های سری اول، نشان‌دهنده مقدار تبخیر از سطح خاک بود.

روابط بین شوری و اجزای تبخیر-تعرق

در نشریه فائو-۲۹، رابطه (۴) با عنوان رابطه خطی مَس و هافمن (Mass & Hoffman, 1977) برای بررسی میزان کاهش عملکرد نسبی محصول در اثر افزایش شوری بیش از حد آستانه تحمل گیاه ارائه شد (Ayers & Westcot, 1985). در پژوهش حاضر با الهام گرفتن از رابطه (۴)، روابط (۵) الی (۷) برای بررسی میزان کاهش تبخیر-تعرق نسبی و اجزای آن در اثر افزایش شوری بیش از حد آستانه تحمل ذرت به‌کار گرفته شد.

$$Y=100-b\,(EC_e- EC_{e,th}) \qquad (۴)$$

در رابطه (۴)؛ Y: عملکرد نسبی محصول (٪)، b: درصد کاهش محصول به‌ازای افزایش هر واحد شوری، EC_e: هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (دسی‌زیمنس بر متر) و $EC_{e,th}$: آستانه تحمل گیاه به تنش شوری خاک (دسی‌زیمنس بر متر) است.

$$(ET/ET_{,th})=100-b_1\,(EC_e- EC_{e,th}) \qquad (۵)$$

$$(T_r/T_{r,th}) =100-b_2\,(EC_e- EC_{e,th}) \qquad (۶)$$

$$(E/E_{,th}) =100-b_3\,(EC_e- EC_{e,th}) \qquad (۷)$$

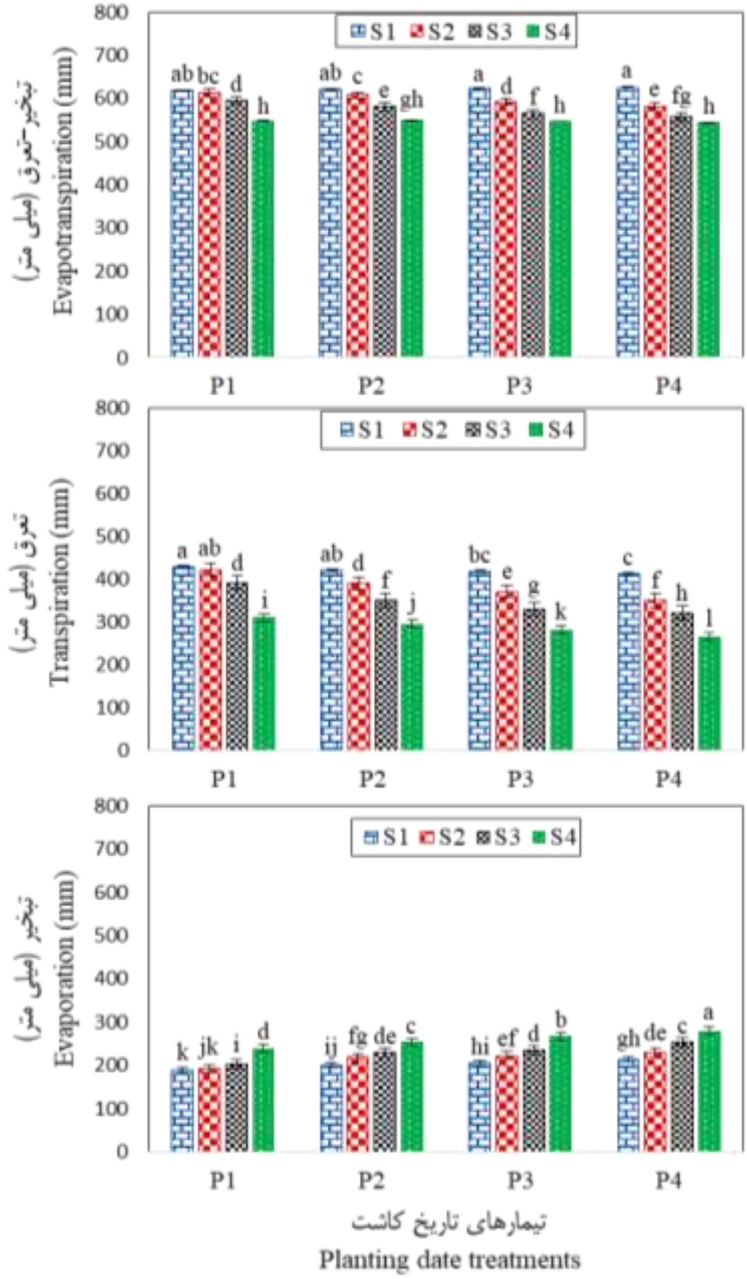
در روابط (۵) الی (۷)؛ کسرهای $\frac{ET}{ET_{th}}$، $\frac{T_r}{T_{rth}}$ و $\frac{E}{E_{th}}$ به‌ترتیب معرف تبخیر-تعرق نسبی (٪)، تعرق نسبی (٪) و تبخیر نسبی (٪)، آن‌هم نسبت به آستانه تحمل گیاه به تنش شوری بود. b_1، b_2 و b_3 به‌ترتیب درصد کاهش تبخیر-تعرق، تعرق و تبخیر به‌ازای افزایش هر واحد شوری، EC_e و $EC_{e,th}$ نیز طبق تعریف رابطه (۴) بوده است.

نتایج و بحث

تبخیر-تعرق و سهم اجزای آن

در این پژوهش مقادیر تبخیر-تعرق ذرت و اجزای آن، در چهار تاریخ کشت ۱۵ اردیبهشت (P_1)، ۴ خرداد (P_2)، ۲۴ خرداد (P_3) و ۱۳ تیر (P_4) و در سطوح شوری خاک شامل ۱/۷ (S_1)، ۲/۵ (S_2)، (S_3) ۳/۸، (S_4) ۵/۹ دسی‌زیمنس بر متر اندازه‌گیری شد. در سطوح شوری S_1، S_2، S_3 و S_4 مقدار تبخیر-تعرق به‌ترتیب برابر با ۶۱۹، ۶۱۴، ۵۹۵ و ۵۴۸ میلی‌متر (تاریخ P_1)، ۶۲۱، ۶۰۸، ۵۸۱ و ۵۴۹ میلی‌متر (تاریخ P_2)، ۶۲۴، ۵۹۳، ۵۶۵ و ۵۴۷ میلی‌متر (تاریخ P_3) و ۶۲۵، ۵۸۲، ۵۵۷ و ۵۴۴ میلی‌متر (تاریخ P_4) بود. به‌همین ترتیب مقدار تعرق برابر با ۴۲۹، ۴۲۲، ۳۹۱ و ۳۰۹ میلی‌متر (تاریخ P_1)، ۴۲۱، ۳۹۰، ۳۵۱ و ۲۹۵ میلی متر (تاریخ P_2)، ۴۱۸، ۳۷۰، ۳۳۰ و ۲۸۱ میلی‌متر (تاریخ P_3) و ۴۱۲، ۳۵۱، ۳۲۱ و ۲۶۵ میلی‌متر (تاریخ P_4) و مقدار تبخیر برابر با ۱۹۰، ۱۹۲، ۲۰۴ و ۲۳۹ میلی‌متر (تاریخ P_1)، ۲۰۰، ۲۱۸، ۲۳۰ و ۲۵۴ میلی‌متر (تاریخ P_2)، ۲۰۶، ۲۲۳، ۲۳۵ و ۲۶۶ میلی‌متر (تاریخ P_3) و ۲۱۳، ۲۳۱، ۲۵۴ و ۲۷۹ میلی‌متر (تاریخ P_4) اندازه‌گیری شد. مقایسه میانگین داده های مذکور در شکل ۲ آورده شد. تیمارهای با حروف انگلیسی مشترک در شکل ۲، دارای اختلاف معنی‌دار در مقدار داده‌ها نبوده‌اند.

نتایج تجزیه واریانس در جدول ۳ نیز نشان داد که اثر دو عامل تنش شوری و تاریخ کشت بر صفات تبخیر-تعرق، تعرق و تبخیر، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده است. علت این بود که با افزایش تنش شوری، میزان پتانسیل آب خاک، جذب آب و تعرق توسط گیاه کاهش پیدا کرد. البته در مقابل کاهش تعرق گیاه، آب باقی‌مانده در خاک صرف جزء نامطلوب تبخیر و افزایش آن شد. از این‌رو تعرق گیاه با شدت بیشتری نسبت به پارامتر تبخیر-تعرق کاهش یافت. نتایج مذکور در پژوهش‌های گذشته نیز تأیید شد.



شکل ۲- مقایسه میانگین مقادیر تبخیر-تعرق و اجزای آن در تاریخ‌های متفاوت کاشت

Figure 2- Comparison of average values of evapotranspiration and its components in different planting dates

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی
Table 3- Variance analysis of investigated traits

منابع تغییرات Sources of changes	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات Average of squares		
		تبخیر-تعرق Evapotranspiration	تبخیر Evaporation	تعرق Transpiration
تنش شوری Salinity stress	3	12570**	7215**	38138**
تاریخ کاشت Planting date	3	691**	3042**	5642**
تنش شوری× تاریخ کاشت Planting date×Salinity stress	9	278**	81**	416**
خطا Error	32	25	21	34

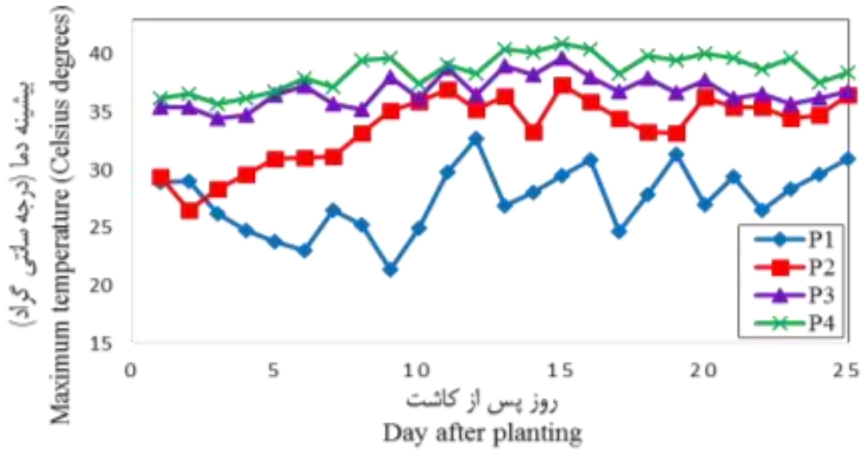
**: نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد
**: significant at 1%

به‌طوری که در اقلیم نیمه‌خشک منطقه باجگاه (شیراز)، سه تیمار شوری آب آبیاری شامل (S_1) ۰/۶، (S_2) ۲ و (S_3) ۴ دسی‌زیمنس بر متر بر روی ذرت اِعمال شد. نتایج نشان داد در تیمارهای S_1، S_2 و S_3 مقدار تبخیر – تعرق به‌ترتیب ۷۶۱، ۷۶۰ و ۷۵۴ میلی‌متر، مقدار تعرق به‌ترتیب ۵۷۸، ۵۴۷ و ۵۱۰ میلی‌متر و مقدار تبخیر از سطح خاک به ترتیب ۱۸۳، ۲۱۳ و ۲۴۴ میلی‌متر اندازه‌گیری شد (Azizian & Sepaskhah, 2014). در تحقیق دیگر اثر تنش شوری آب آبیاری با سطوح ۰/۵، ۲/۱، ۳/۵ و ۵/۷ دسی‌زیمنس بر متر بر گیاه ذرت اعمال شد. نتایج نشان داد که افزایش شوری آب از سطح ۰/۵ به ۵/۷ دسی‌زیمنس بر متر باعث شد که در کل دوره رشد ذرت میزان تبخیر-تعرق از ۴۲۰ به ۳۲۰ میلی‌متر، تعرق از ۲۸۵ به ۱۲۴ میلی‌متر و تبخیر از ۱۳۵ به ۱۹۶ میلی‌متر تغییر کند (Saeidi, 2022 b). باتوجه به نتایج پژوهش‌های گذشته، تنش شوری باعث کاهش میزان تبخیر-تعرق و تعرق گیاه و افزایش میزان تبخیر از سطح خاک شد، که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت داشت.

از سوی دیگر به‌سبب متغیر بودن مقادیر پارامترهای هواشناسی در روزها و ماه‌های مختلف، میزان تبخیر-تعرق و اجزای آن در تیمارهای تاریخ کاشت گیاه متفاوت بود. این قضیه که مراحل مختلف رشد گیاه در چه بازه زمانی و شرایط آب و هوایی قرار داشته‌اند، نکته حائز اهمیت و مؤثر بر مقدار اجزای تبخیر و تعرق گیاه بود. به‌دلیل این‌که در مرحله اولیه رشد گیاه، اندام‌های گیاهی از صفر تا ۱۰ درصد از سطح زمین را می‌پوشاند (فائو-۵۶) و جزءِ تبخیر (در مرحله اولیه رشد گیاه) دارای سهم غالب در پارامتر تبخیر-تعرق گیاه می‌باشد. پس اگر مرحله اولیه رشد گیاه همزمان با روزهای اوج گرما باشد، تلفات تبخیر از سطح خاک افزایش می‌یابد. در این‌باره در آزمایشی بر روی ذرت در چین گزارش داده شد که بیشترین مقدار تبخیر از سطح خاک برابر با ۳/۹۱ میلی‌متر بر روز بود که در مرحله اولیه رشد ذرت اتفاق افتاد و کم‌ترین مقدار آن برابر با ۰/۱ میلی‌متر بر روز بود که در مرحله پایانی رشد انجام شد (Guo *et al*., 2021). نکته مهم دیگر این‌که در شکل ۳ نشان داده شد که با تغییر تاریخ کاشت بذر و نزدیک شدن آن به روزهای گرم سال، نمودار دمایی در مرحله اولیه رشد، با افزایش مقدار همراه بود. از این‌رو در اثر تغییر در تاریخ کاشت بذر و قرارگیری مرحله اولیه رشد گیاه در گرم‌ترین روزهای سال، میزان تلفات تبخیر از سطح خاک به بیش‌ترین مقدار ممکن رسید. البته همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد، در چنین شرایط سطح تنش شوری وارد بر گیاه نیز اثر منفی مضاعف داشت و موجب کاهش جذب آب و انتقال سهم تعرق به سوی تلفات تبخیر شد. در پژوهشی مشابه دیگر اثر سطوح شوری آب آبیاری شامل (S_1) ۱/۷، (S_2) ۳/۳۶، (S_3) ۶/۳۳ و (S_4) ۸/۳۵ دسی‌زیمنس بر متر، بر روی گیاه ذرت آزمایش شد. نتایج نشان داد که با افزایش تنش شوری، جذب آب توسط گیاه کاهش یافت. اما میزان کاهش جذب آب در فصل بهار (تقاضای تبخیر بالا) نسبت به فصل پاییز (تقاضای تبخیر پایین) متفاوت بود. یعنی در شرایط تقاضای تبخیر بالا (فصل بهار) نسبت به تقاضای تبخیر پایین (فصل پاییز)، حساسیّت ذرت به تنش شوری بیشتر بود (Bazrafshan *et al*., 2020). در مقایسه با نتایج پژوهش اخیر این نکته قابل بحث بود که افزایش توان تبخیرکنندگی اتمسفر در کنار فاکتور تنش شوری، به‌طور مضاعف میزان جذب آب (توسط گیاه) را کاهش داده و اثر متقابل بر افزایش تلفات تبخیر از سطح خاک داشته‌اند. از این‌رو علاوه بر کنترل تنش‌های محیطی، باید مراحل رشد گیاه به‌گونه‌ای با وضعیت اقلیمی منطقه تطبیق داده شوند که اثر تنش دمایی محیط به کمینه مقدار خود برسد.

در مورد سهم اجزای تبخیر و تعرق گیاه ذکر می‌شود که با افزایش شوری خاک از سطح S_1 به S_4، سهم تعرق گیاه (T_r/ET_c) از ۶۹/۳ به ۵۶/۴ درصد (در کشت P_1)، ۶۷/۸ به ۵۳/۷ درصد (در کشت P_2)، ۶۷ به ۵۱/۴ درصد (در کشت P_3) و ۶۵/۹ به ۴۸/۷ درصد (در کشت P_4) رسید. به‌همین ترتیب سهم تبخیر (E/ET_c) از ۳۰/۷ به ۴۳/۶ درصد (در کشت P_1)، ۳۲/۲ به ۴۶/۳ درصد (در کشت P_2)، ۳۳ به ۴۸/۶ درصد

(در کشت P_3) و ۳۴/۱ به ۵۱/۳ درصد (در کشت P_4) رسید. به‌این معنا که در شرایط تنش شوری مذکور و در تاریخ‌های کشت P_1، P_2، P_3 و P_4 سهم تعرق گیاه به‌ترتیب ۱۲/۹، ۱۴/۱، ۱۵/۶ و ۱۷/۲ درصد کاهش و سهم تبخیر به همان اندازه افزایش یافت. از این‌رو در شرایط تنش شوری هر سهمی از تعرق گیاه که کاهش پیدا کرده است، به همان میزان به سهم تبخیر از سطح خاک افزوده شده است.



شکل ۳- مقدار بیشینه دما در بازه زمانی مرحله اولیه رشد گیاه، در تاریخ‌های مختلف کشت
Figure 3- The maximum temperature value in the time of crop initial growth stage, in different planting dates

البته این نکته هم نشان داده شد که تغییر دادن تاریخ کاشت بذر برای استفاده بهینه از شرایط معتدل اتمسفری در مراحل رشد گیاه، می تواند از افزایش سهم تبخیر جلوگیری نماید. در پژوهش عزیزیان و سپاسخواه (Azizian & Sepaskhah, 2014) و برای شرایط شوری آب آبیاری با سطوح ۰/۶ (S_1)، ۲ (S_2) و ۴ (S_3) دسی‌زیمنس بر متر نیز نشان داده شد که با افزایش شوری، سهم تعرق گیاه ذرت کاهش و سهم تبخیر افزایش یافته است. به‌طوری که در تیمارهای S_1، S_2 و S_3 سهم تعرق گیاه به‌ترتیب ۷۶، ۷۲ و ۶۸ درصد و سهم تبخیر از سطح خاک به‌ترتیب ۲۴، ۲۸ و ۳۲ درصد برآورد شد. در پژوهش دیگر، اثر شش سطح آبیاری شامل ۱۰۰، ۸۵، ۷۵، ۷۰، ۵۵ و ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه، بر روی ذرت انجام شد. نتایج نشان داد که به‌طور مشابه اثر تنش آبی باعث کاهش سهم تعرق گیاه از ۸۷ به ۷۳ درصد و افزایش سهم تبخیر از ۱۳ به ۲۷ درصد شده بود (Trout & Dejonge, 2017). از این‌رو پاسخ اجزای تبخیر و تعرق نسبت به تنش‌های محیطی در پژوهش‌های گذشته، با پژوهش حاضر مطابقت داشت. جمع‌بندی نتایج این بخش از پژوهش بر انتخاب تاریخ مناسب کشت بذر، جهت کاهش اثر متقابل تنش شوری و تنش فصلی اتمسفر تأکید دارد. به‌طوری‌که با کاشت بذر در زمان‌های نزدیک به تاریخ P_1، می‌توان از اثرات منفی اتمسفر در فصل گرم سال که بر اجزای تبخیر و تعرق می‌گذارد، حتی الامکان جلوگیری نمود. زیرا افزایش تنش‌های دمایی در محیط رشد گیاه بر افزایش مقاومت و انسداد روزنه‌ها، کاهش تعرق گیاه و افزایش جزءِ تبخیر (به‌خصوص در سطح فاقد پوشش گیاهی در مرحله اولیه رشد گیاه) مؤثر خواهد بود.

روابط تبخیر-تعرق و اجزاءِ آن با تنش شوری

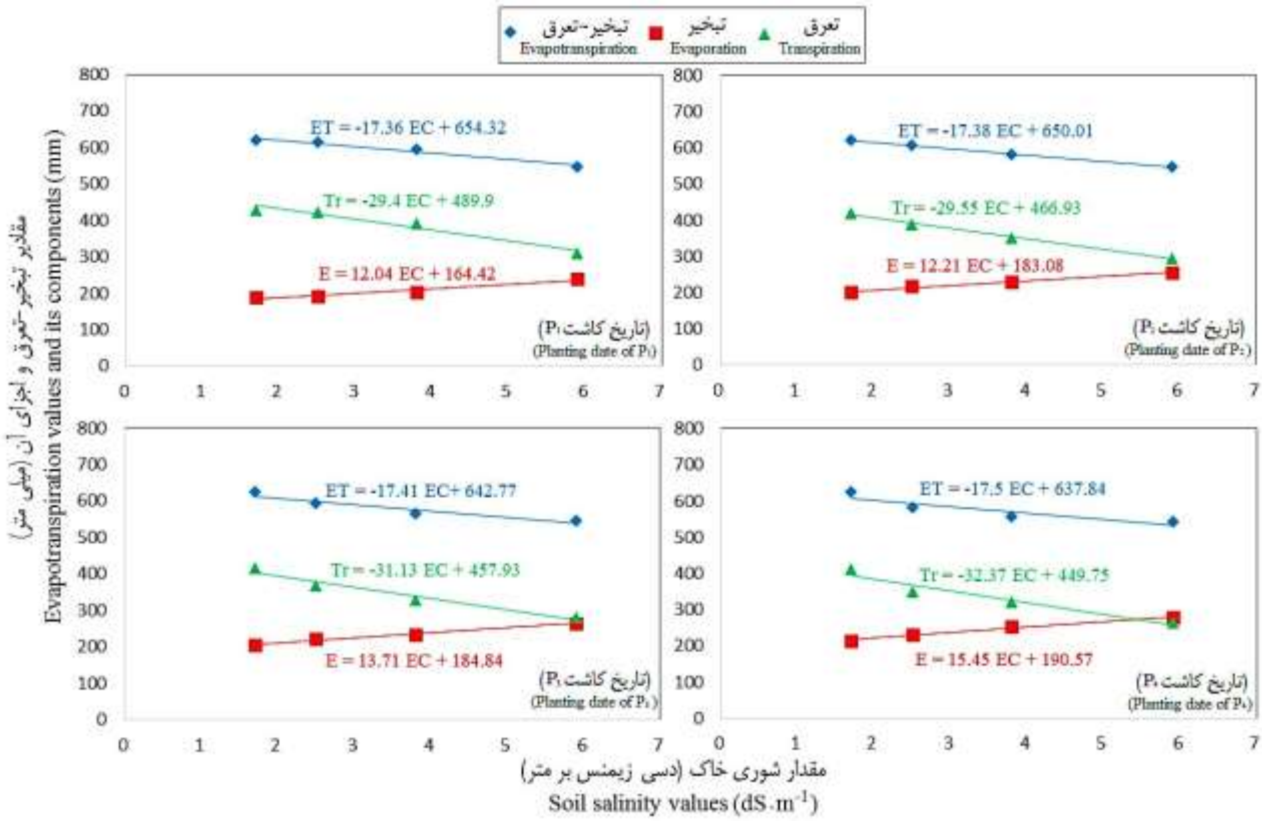
در شکل ۴ رابطه تبخیر-تعرق (ET)، تعرق (T_r) و تبخیر (E) (متغیرهای وابسته) نسبت به میزان شوری خاک (متغیر مستقل) بررسی شد. از نکات قابل بحث در شکل مذکور، شیب کاهشی دو پارامتر ET و T_r و شیب افزایشی پارامتر E، در اثر افزایش تنش شوری بود. در اصل T_r که نشان‌دهنده جذب آب و تعرق گیاه بود، با شدت بیشتری نسبت به ET کاهش یافت. اما خنثی شدن شدت کاهشی T_r توسط شیب افزایشی E در شرایط تنش شوری، باعث شد که شیب کاهشی ET تعدیل شده و حساسیّت کم‌تری را نشان دهد. از این‌رو لازم است که در شرایط واقعی به‌جای پارامتر ET، جزءِ T_r که نشان‌دهنده نیاز خالص آبی واقعی گیاه است، بررسی شده و توصیه‌های مدیریتی بر اساس آن صورت پذیرد.

از سوی دیگر تغییر تاریخ کاشت بذر نیز بر شیب تغییرات تبخیر-تعرق و اجزای آن (نسبت به تنش شوری) مؤثر بود. به‌طوری‌که با نزدیک شدن به فصل گرم سال، تقاضای اتمسفر برای تبخیر و رقابت بین دو جزءِ تعرق و تبخیر (برای تصاحب آب) شدت گرفت. درنتیجه تعویق تاریخ کاشت بذر و عدم استفاده از شرایط بهینه آب و هوایی (در فصل بهار) منجر به زیان دیدن جزءِ مطلوب تعرق و افزایش جزءِ نامطلوب تبخیر گردید. از این‌رو برای شرایط واقعی در مزرعه توصیه کاربردی این خواهد بود که در فصل گرم سال (به‌خصوص در ماه‌های تیر و مرداد)، نباید فرآیند کاشت بذر آغاز گردد. اما این در حالی است که در اغلب کشت‌های آبی که به‌عنوان کشت دوم مزارع در نظر گرفته

می‌شوند، در ماه‌های گرم سال اقدام به بذرپاشی می‌شود. در این‌باره در شکل ۴ مشاهده شد که در تاریخ کاشت P_4، رسیدن شوری خاک به سطح S_4 (۵/۹ دسی‌زیمنس بر متر) منجر به غلبه جزءِ E بر T_r و در نتیجه کاهش راندمان تبخیر-تعرق ذرت به کم‌تر از ۵۰ درصد شده است. این مسئله نکته مهمی بوده و نشان‌دهنده اتحاد تنش شوری و تاریخ نامناسب کشت بر افزایش تلفات آبی، از طریق فرآیند تبخیر بوده است.

در پژوهش‌های گذشته چندان پاسخ اجزای تبخیر و تعرق ذرت به سطوح شوری خاک و تاریخ‌های مختلف کشت، بررسی نشده است. اما به‌طور مشابه در تحقیقی با تیمارهای شوری آب آبیاری شامل ۰/۵، ۲/۵، ۵ و ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر، بین مقدار تبخیر-تعرق گیاه ذرت و سطح شوری آب، رابطه خطی ET=-0.717 EC+15.07 ارائه شد (Lacerda *et al.*, 2016). در پژوهش دیگر تنش شوری در مراحل رشد ۴ برگی، گل‌دهی و شیری شدن دانه‌های ذرت اعمال شد و به ترتیب روابط Y=-7.6EC+149، Y=-13.1EC+122 و Y=-10.9EC+131 بین عملکرد محصول و میزان شوری برازش داده شد (Saeidi *et al.*, 2019). از این‌رو در پژوهش‌های مذکور نشان داده شد که تنش شوری باعث کاهش تبخیر-تعرق و عملکرد محصول ذرت شد و منطبق بر نتایج پژوهش حاضر بود.

در شکل ۵ روابط تبخیر-تعرق- شوری، تعرق-شوری و تبخیر-شوری براساس رابطه مَس-هافمن (Mass & Hoffman, 1977) ارائه شد. روابط مذکور نشان دادند که به‌ازای هر یک واحد (دسی‌زیمنس بر متر) افزایش تنش شوری خاک نسبت به حد آستانه تحمل گیاه ذرت، پاسخ پارامترهای تبخیر-تعرق، تعرق و تبخیر چگونه بوده است. بر این اساس در تاریخ‌های کشت P_1، P_2، P_3، P_4 و به‌ازای افزایش یک دسی زیمنس بر متر در شوری خاک، میزان تبخیر-تعرق به‌ترتیب ۲/۵۱، ۲/۸۲، ۳/۳ و ۳/۶۵ درصد کاهش، میزان تعرق به‌ترتیب ۶/۱، ۷/۳۴، ۸/۴۲ و ۹/۲ درصد کاهش و میزان تبخیر به‌ترتیب ۵/۵، ۶/۷، ۷ و ۷/۸۲ درصد افزایش داشت. از این‌رو با انتخاب تاریخ بهینه برای کاشت گیاه، می توان اثرات منفی تنش شوری بر اجزای تبخیر- تعرق گیاه را مدیریت نمود. به‌طور مشابه رابطه مَس-هافمن برای عملکرد محصول ذرت تحت سطوح شوری آب آبیاری شامل ۰/۳، ۱، ۱/۷، ۲/۴، ۳/۱، ۳/۸ و ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر، به‌صورت $Y/Y_{max}=1-0.21(EC_i-1.7)$ برآورد شد (Blanco *et al.*, 2008).



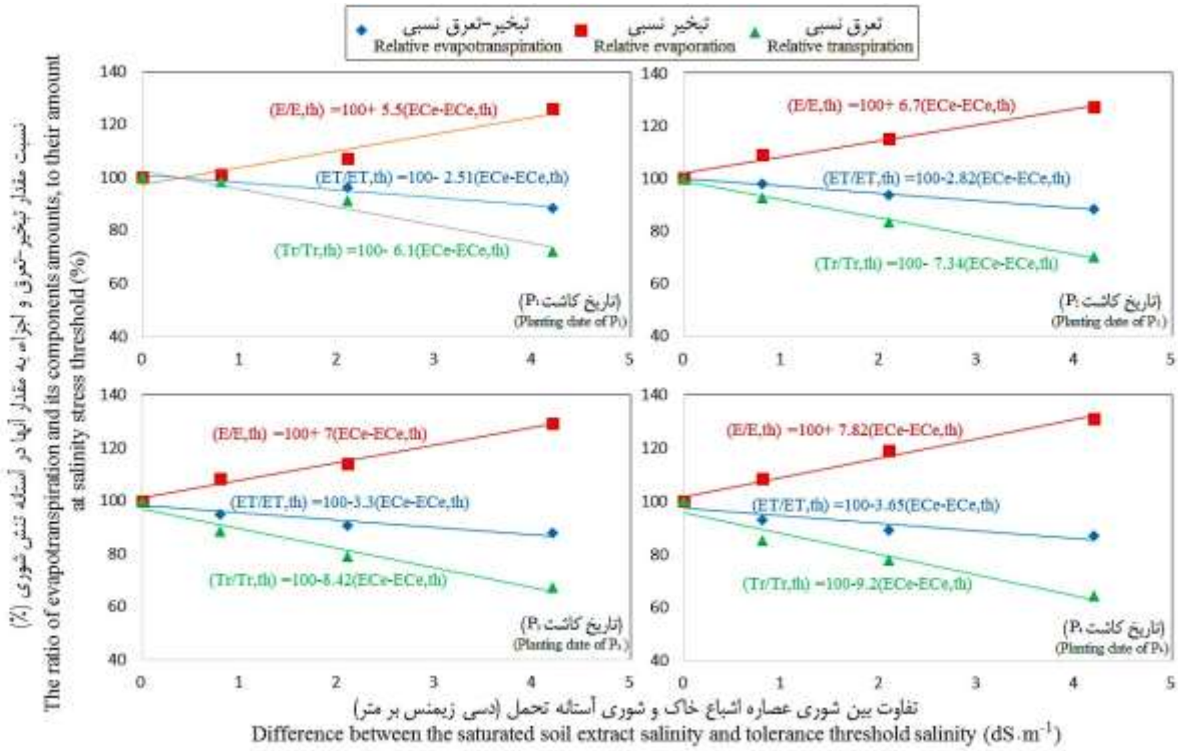
شکل ٤- پاسخ تبخیر-تعرق ذرت و اجزای آن به افزایش شوری عصاره اشباع خاک

Figure 4- Response of maize evapotranspiration and its components to increasing of saturated soil extract salinity

در پژوهش دیگر تحت چهار سطح تنش شوری آب آبیاری شامل (S_1) ۱/۷، (S_2) ۳/۳۶، (S_3) ۶/۳۳ و (S_4) ۸/۳۵ دسی‌زیمنس بر متر، رابطه مَس–هافمن برای جذب نسبی آب توسط گیاه ذرت به‌صورت $X=100-8.3(EC_i-1.48)$ ارائه شد (Bazrafshan *et al.*, 2020). نتایج پژوهش اخیر از نظر شیب کاهش جذب آب، به نتایج پژوهش حاضر نزدیک بود. جمع‌بندی کلیه نتایج این نکته را خاطر نشان می‌کند که بازه زمانی دارای بیشینه دما در محیط مزرعه (به‌دلیل افزایش توان تبخیرکنندگی اتمسفر) و به‌طور هم‌زمان مواجه بودن با تنش شوری، عواملی هستند که برهمکنش آن‌ها موجب کاهش جذب آب توسط گیاه و افزایش تلفات آب (تبخیر) می‌گردد. به‌طوری‌که سطح شوری S_4 و تاریخ کاشت P_4 در پژوهش حاضر، دارای بدترین شرایط برای جذب آب توسط گیاه ذرت و بیشینه تلفات تبخیر بوده است. درنتیجه ایجاد شرایط مناسب برای گیاه، نیازمند مدیریت دوجانبه از لحاظ انتخاب تاریخ بهینه کشت و کنترل شوری خاک می‌باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که اثر دو عامل تنش شوری و تاریخ کاشت بذر بر مقدار صفات تبخیر–تعرق، تعرق و تبخیر، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. افزایش شوری خاک از سطح S_1 به S_4 باعث شد که در تاریخ‌های کاشت P_1، P_2، P_3 و P_4 به‌ترتیب مقدار تبخیر–تعرق ۱۱/۴، ۱۱/۶، ۱۲/۳ و ۱۳ درصد کاهش، مقدار تعرق ۲۸، ۳۰، ۳۲/۸ و ۳۵/۷ درصد کاهش و مقدار تبخیر ۲۵/۸، ۲۷، ۲۹/۱ و ۳۱ درصد افزایش داشته باشد. دلیل نتایج مذکور این بود که با افزایش میزان شوری خاک، مقدار پتانسیل آب خاک، جذب آب و تعرق توسط گیاه کاهش پیدا کرد. از سوی دیگر با تغییر تاریخ کاشت بذر از P_1 تا P_4 و به‌علت نزدیک شدن به روزهای گرم سال، برهمکنش دو عامل تنش شوری و توان تبخیرکنندگی اتمسفر برای کاهش تعرق گیاه و افزایش تبخیر از سطح خاک، به اوج خود رسید. این مسئله به‌این صورت تبیین شد که در صورت تأمین نیاز تبخیر–تعرق گیاه، همواره رقابت تصاحب آب بین دو جزءِ تعرق (جزءِ مطلوب) و تبخیر (جزءِ نامطلوب) برقرار است. اما در شرایط اِعمال تنش شوری، راندمان جذب آب توسط گیاه کاهش یافته و بخشی از آن آبی که به‌عنوان سهم تعرق گیاه (در شرایط استاندارد منطقه) وجود داشته است، به جزءِ تبخیر انتقال داده می‌شود. در این میان تاریخ کاشت بذر باید به‌گونه‌ای تعیین شود که مرحله اولیه رشد گیاه (به‌دلیل فاقد پوشش گیاهی مناسب در سطح خاک)، دارای معتدل‌ترین شرایط آب و هوایی در کل دوره رشد گیاه باشد.



شکل ۵- پاسخ تبخیر–تعرق نسبی و اجزای آن به افزایش شوری عصاره اشباع خاک، در تاریخ‌های مختلف کشت

Figure 5- Response of relative evapotranspiration and its components to increasing of saturated soil extract salinity, in different planting dates

درنتیجه بالاترین سطح تنش شوری موجب شد که در تاریخ‌های کاشت P_1، P_2، P_3 و P_4 سهم تعرق گیاه به‌ترتیب ۱۲/۹، ۱۴/۱، ۱۵/۶ و ۱۷/۲ درصد کاهش و سهم تبخیر به همان اندازه افزایش یابد. از این رو سطح شوری S_1 و تاریخ کاشت P_1 در پژوهش حاضر، دارای شرایط بهینه برای جذب آب توسط گیاه ذرت و کمینه تلفات تبخیر بود.

روابط بین تبخیر-تعرق و اجزای آن با تنش شوری نشان داد که جزءِ تعرق گیاه با شیب بیشتری نسبت به پارامتر تبخیر-تعرق کاهش یافت. تا جایی که در تاریخ کاشت P_4 و سطح شوری S_4 مقدار تبخیر بر تعرق غلبه کرد و راندمان جذب آب توسط گیاه به کم‌تر از ۵۰ درصد رسید. از این‌رو در شرایط تحت تنش شوری، لزوم درنظر گرفتن جزءِ تعرق به‌عنوان نیاز خالص آبی واقعی گیاه، مشاهده شد. کاربرد رابطه مَس-هافمن نیز نشان داد که به‌ازای افزایش هر یک دسی‌زیمنس بر متر شوری خاک، میزان تبخیر-تعرق بین ۲/۵۱ تا ۳/۶۵ درصد کاهش، تعرق بین ۶/۱ تا ۹/۲ درصد کاهش و میزان تبخیر نیز بین ۵/۵ تا ۷/۸۲ درصد افزایش داشته است. درنتیجه برای مزارعی که با تنش شوری خاک مواجه هستند، توصیه می‌شود که حتی‌المقدور با انتخاب تاریخ مناسب کشت به‌خصوص در کشت‌های دوم سال، از مضرات ناشی از تنش‌های دمایی و توان تبخیرکنندگی اتمسفر در روزهای گرم سال اجتناب نمایند.

References

1. Abaza, A., Elshamly, A., Alwahibi, M., Elshikh, M., & Ditta, A. (2023). Impact of different sowing dates and irrigation levels on NPK absorption, yield and water use efficiency of maize. *Scientific Reports*, *13*, 12956. 1-14. https://doi.org/10.1038/s41598-023-40032-9
2. Akhtari, A., Homaee, M., & Hoseini, Y. (2014). Modeling plant response to salinity and soil nitrogen deficiency. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, *3*(4), 33-49. (In Persian with English abstract)
3. Alikhani, F., M.Zamani, D., & Yousefi, R. (2015). Determining the probability of proper work days for operations of sewing corn in Qazvin Province. *Journal of Bio Systems Engineering*, *4*(2), 1-19. (In Persian with English abstract)
4. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation Drainage Paper No.56*. Pp. 1-326.
5. Andarzian, B., Hoogenboom, G., Bannayan, M., & Shirali, M. (2015). Determining optimum sowing date of wheat using CSM-CERES-Wheat model. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, *14*(2), 189-199. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2014.04.004
6. Ayers, R.S., & Westcot, D.W. (1985). Water quality for agriculture. *FAO Irrigation and Drainage Paper No.29*. Pp. 32.
7. Azizian, A., & Sepaskhah, A.R. (2014). Maize response to water, salinity and nitrogen levels: yield-water relation, water-use efficiency and water uptake reduction function. *Journal of Plant Production*, *8*(2), 183-214. https://doi.org/10.22069/IJPP.2014.1524
8. Bazrafshan, A., Shorafa, M., Mohammadi, M.H., & Zolfaghari, A.A. (2020). Maize response to salinity stress using water uptake models in different seasons. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *50*(9), 2171-2182. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/ ijswr.2019.281105.668201
9. Blanco, F.F., Folegatti, M.V., Gheyi, H.R., & Fernandes, P.D. (2008). Growth and yield of corn irrigated with saline water. *Journal of Scientia Agricola*, *65*(6), 574-580. https://doi.org/10.1590/S0103-90162008000600002
10. Choudhary, S., Vadez, V., Hash, C.T., & Kishor, P.K. (2019). Pearl millet mapping population parents: performance and selection under salt stress across environments varying in evaporative demand. *Journal of Biological Sciences, 89*(1), 201-211. https://doi.org/10.1007/s40011-017-0933-1
11. Dehghani, A., Kazemeini, S.A., Zarei, M., & Alinia, M. (2017). Effects of salt stress and mycorrhiza fungi on morpho-physiological characteristics of sweet corn. *Journal of Crop Production and Processing Isfahan University of Technology*, *7*(1), 101-113. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.18869/acadpub.jcpp.7.1.101
12. Dehghanisanij, H., Kanani, E., & Akhavan, S. (2018). Evaluation of corn evapotranspiration and its components and relationshipbetween leaf area index and components in surface and subsurface drip irrigation systems. *Journal of Water and Soil*, *31*(6), 1549-1560. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/JSW.V31I6.64019
13. Ferreira, M.I., Silvestre, J., Conceic, N., & Malheiro, A.C. (2012). Crop and stress coefficients in rain fed and deficit irrigation vineyards using sap flow techniques. *Journal of Irrigation Science*, *30*, 433–447. https://doi.org/10.1007/s00271-012-0352-2
14. Guo, T., Liu, C., Xiang, Y., Zhang, P., & Wang, R. (2021). Simulations of the soil evaporation and crop transpiration beneath a maize crop canopy in a humid area. *Journal of Water*, *13*(14), 1-13. https://doi.org/10.3390/w13141975
15. Katerji, N., van Hoorn, J.W., Hamdy, A., & Mastrorilli, M. (2004). Comparison of corn yield response to plant water stress caused by salinity and by drought. *Journal of Agriculture Water Management*, *65*, 95-101. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2003.08.001
16. Lacerda, C.F., Ferreira, J.F.S., Liu, X., & Suarez, D.L. (2016). Evapotranspiration as a criterion to estimate nitrogen

requirement of maize under salt stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *202*, 192-202. https://doi.org/10.1111/jac.12145

17. Maas, E.V., & Hoffman, G.J. (1977). Crop salt tolerance: Current assessment. *Journal of Irrigation Drainage, ASCE, 103*, 115-134.
18. Saeidi, R., Soultani, M., Liaghat, A.M., & Sotoodehneia, A. (2019). The effect of salinity on maize yield in various growth stages. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *50*(8), 1975-1983. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/IJSWR.2019.275824.668125
19. Saeidi, R. (2021 a). Separation the evaporation and transpiration in maize cultivation and investigation of their response to different irrigation levels. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *52*(5), 1263-1273. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/IJSWR.2021.318297.668881
20. Saeidi, R. (2021 b). Effect of drought and salinity stress in estimation of forage maize yield through of periodic evapotranspiration, with using of different models. *Journal of Water Research in Agriculture*, *35*(2), 107-121. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/jwra.2021.355044.876
21. Saeidi, R., Ramezani-Etedali, H., Sotoodenia, A., Kaviani, A., & Nazari, B. (2021). Salinity and fertility stresses modifies K_s and readily available water coefficients in maize (Case study: Qazvin region). *Journal of Irrigation Science*, *39*, 299-313. https://doi.org/10.1007/s00271-020-00711-1
22. Saeidi, R. (2022 a). Evaluation of multivariate regression models in estimation of evaporation and transpiration components of maize, under salinity stress conditions. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *53*(1), 71-84. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/IJSWR.2022.335453.669157
23. Saeidi, R. (2022 b). Determination of salinity stress coefficient in the different growth stages of forage maize. *Journal of Water Research in Agriculture*, *36*(1), 75-92. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/jwra.2022.356739.902
24. Saeidi, R. (2023). The sensitivity effect of maize growth stages on application of water uptake reduction functions, under salinity stress conditions. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *54*(4), 597-612. (In Persian with English abstract). https://doi.org/ 10.22059/IJSWR.2023.357997.669488
25. Sajadi, F., Sharifan, H., Soughi, H., & Abdolhosseini, M. (2023). Investigating the performance and water productivity of wheat cultivars in different sowing dates and irrigation conditions (a case study in Gorgan Plain). *Journal of Water and Soil Conservation*, *30*(1), 91-110. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22069/jwsc.2023.20969.3609
26. Soultani, M., Liaghat, A.M., & Sotoodehneia, A. (2012). Conjunctive effect of planting date and time of supplementary irrigation on water productivity of lentil in rainfed conditions. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *43*(3), 243-248. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/IJSWR.2012.29286
27. Uossef Gomrokchi, A., Akbari, M., Hassanoghli, A., & Younesi, M. (2020). Monitoring soil salinity and vegetation using multispectral remote sensing data in interceptor drain of salt marsh in Qazvin plain. *Journal of Geography and Environmental Sustainability*, *10*(1), 37-52. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22126/GES.2020.4434.2103
28. Trout, T.J., & Dejonge, K.C. (2017). Water productivity of maize in the US high plains. *Journal of Irrigation Science*, *35*, 251–266. https://doi.org/10.1007/s00271-017-0540-1
29. Zhou, S., Liu, W., & Lin, W. (2017). The ratio of transpiration to evapotranspiration in a rain fed maize field on the Loess Plateau of China. *Journal of Water Science and Technology, 17*(1), 221-228. https://doi.org/10.2166/ws.2016.108